

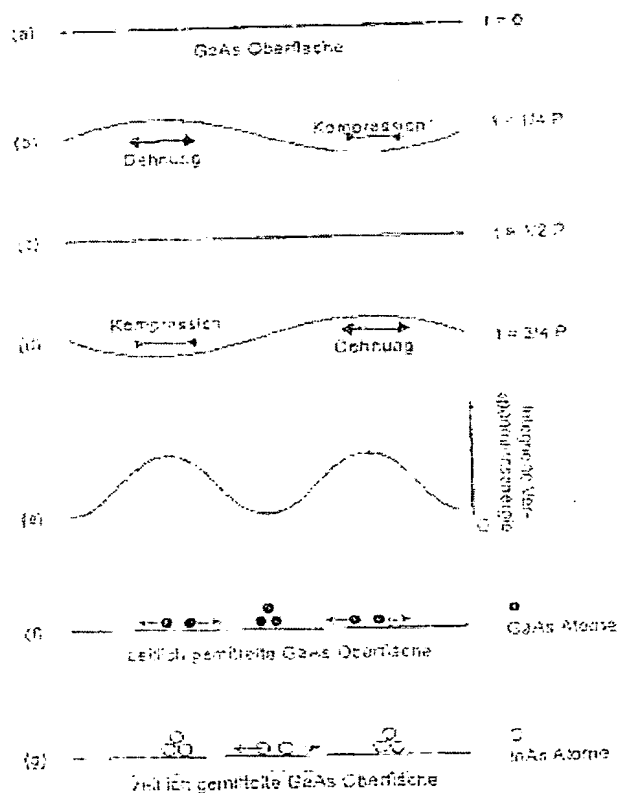
## Production of periodic structures is achieved by material deposition at antinodes of standing surface waves on substrate

**Patent number:** DE10019712  
**Publication date:** 2001-10-25  
**Inventor:** SCHMIDT OLIVER G (DE); EBERL KARL (DE)  
**Applicant:** MAX PLANCK GESELLSCHAFT (DE)  
**Classification:**  
**- international:** H01L21/20; H01L21/8246; H01L27/22; H01S5/12; H01L21/02; H01L21/70; H01L27/22; H01S5/00; (IPC1-7): H01L21/20; B81C1/00; H01L31/102; H01L33/00; H01L43/12; H01S5/187  
**- european:** H01L21/20; H01L21/8246M; H01L27/22; Y01N4/00  
**Application number:** DE20001019712 20000420  
**Priority number(s):** DE20001019712 20000420

[Report a data error here](#)

### Abstract of DE10019712

A substrate (1) is prepared. One or more standing waves are produced on a principal surface of this substrate. Material is deposited on the surface subjected to the standing waves.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide





- ② Aktenzeichen: 100 19 712.4  
 ② Anmeldetag: 20. 4. 2000  
 ④ Offenlegungstag: 25. 10. 2001

- ⑦1 Anmelder:  
Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der  
Wissenschaften e.V. Berlin, 80539 München, DE
- ⑦4 Vertreter:  
Patentanwälte Dr. Graf Lambsdorff & Dr. Lange,  
81673 München

- (72) Erfinder:**  
Schmidt, Oliver G., Dr., 70176 Stuttgart, DE; Eberl,  
Karl, Dr., 71263 Weil der Stadt, DE

- ⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

US 57 14 765 A

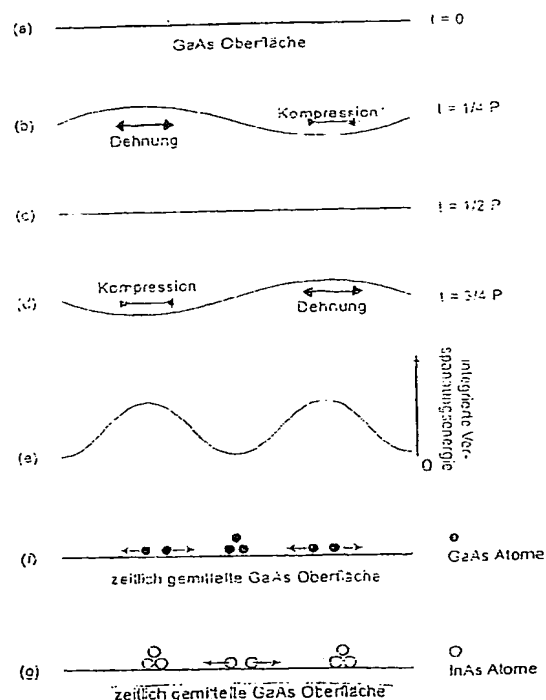
**JP Patents Abstracts of Japan:**

6-140323 A., E-1593, Aug. 17, 1994, Vol. 18, No. 442;  
63- 99522 A., E- 657, Sept. 12, 1988, Vol. 12, No. 337;  
3-204922 A., E-1140, Dec. 4, 1991, Vol. 15, No. 476;  
10256152 A;  
07086613 A;  
09321273 A;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

- (54) Verfahren zur Herstellung von periodischen Materialstrukturen**

- 57 Das Verfahren beruht darauf, daß ein beliebiges, periodisch zu strukturierendes Material auf die Hauptoberfläche eines Substrats abgeschieden wird, während die Substratoberfläche mit einer stehenden Oberflächenwelle beaufschlagt wird, die durch Überlagerung zweier entgegengerichteter Oberflächenwellen erzeugt wird, die beispielsweise mittels kammartiger Elektrodenstrukturen unter Ausnutzung des piezoelektrischen Effektes auf die Hauptoberfläche eingekoppelt werden. Es ist damit zu rechnen, daß bei den meisten Abscheidungsprozessen eine Anlagerung des abgeschiedenen Materials an bestimmten Orten der Periodizität der stehenden Oberflächenwelle oder zweier sich unter einem Winkel überlagernder stehender Oberflächenwellen erfolgt. Mit diesem Verfahren können beispielsweise draht- oder clusterförmige Halbleiterstrukturen, insbesondere Quantendrähte oder Quantenpunkte, in ein umgebendes Halbleitermaterial eingebettet werden. Die Erfindung kann auch auf andere als auf Halbleiterbauelemente angewandt werden, wobei die Strukturen auch größer sein können als für Quantendrähte oder Quantenpunkte erforderlich.



[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer periodischen Anordnung von Materialstrukturen und eine mit dem Verfahren hergestellte Einrichtung. Insbesondere bezieht sich die Erfindung dabei auf nach dem Verfahren hergestellte Halbleitereinrichtungen und Halbleiterbauelemente, in denen derartige periodische Anordnungen von Materialstrukturen zum Einsatz kommen. Die Erfindung bezieht sich jedoch ebenso auf andere Einrichtungen, bei denen periodische Materialstrukturen aus magnetischen oder anderen Materialien zur Anwendung kommen.

[0002] Periodische Festkörperstrukturen spielen eine zentrale Rolle in allen Bereichen der Mikro- und Nanoelektronik. Als wichtigstes Beispiel seien Speicherbauelemente in Computern genannt, die aus Milliarden von periodisch angeordneten Transistor/Kondensatorzellen bestehen. Dabei spielt die Methodik zur periodischen Anordnung eine zentrale Rolle. Bei Speicherbauelementen ist es die Lithographie, mit der die periodischen Strukturen prozessiert werden. Für viele Anwendungen ist es jedoch von großem Vorteil, die periodische Anordnung während einer Schichtabscheidung auf einer Festkörperoberfläche zu generieren und im Gegensatz zur Lithographie nicht erst nach der Schichtabscheidung die Periode zu erzeugen.

[0003] Wenn die Größe der periodisch angeordneten Strukturen eine gewisse kritische Größe unterschreitet, bei der Quantenphänomenen eine entscheidende Rolle spielen, so spricht man von Quantenstrukturen (Quantentöpfe, Quantendrähte, und Quantenpunkte), die in den letzten Jahren eine immer gewichtigere Rolle spielen. Die periodische Anordnung von größeren Strukturen im  $\mu\text{m}$ - oder gar  $\text{mm}$ -Bereich spielt jedoch eine ebensowichtige Bedeutung.

[0004] Der Ausgangspunkt der vorliegenden Erfindung liegt auf dem Gebiet der Halbleiter-Optoelektronik.

[0005] Seit einiger Zeit wird im Stand der Technik mit unterschiedlichsten Methoden versucht, auf kontrollierte Art und Weise mikroskopisch kleine, in Größe und chemischer Zusammensetzung uniforme Halbleiterquantendrähte oder Halbleiterquantenpunkte in einer umgebenden Halbleitermatrix anzuordnen, wobei diese eine niedrigere Energielücke aufweisen als die Halbleitermatrix.

[0006] Die im Stand der Technik bekannten Präparationsverfahren nutzen selbstorganisiertes Wachstum von Inselstrukturen beim gitterfehlangepaßten Aufwachsen einer Halbleiterschicht auf ein aus einem anderen Material bestehendes Halbleitersubstrat aus. In der EP 0 437 385 A wird beispielsweise das Wachstum von InAs-Wachstumsinseln auf einer GaAs-Unterlage beschrieben. Aufgrund der Gitterfehlanpassung bildet sich dabei zunächst eine dünne InAs-Benetzungsschicht aus, oberhalb der ein weiteres Aufwachsen von InAs zur spontanen Ausbildung von mikroskopischen Inselstrukturen führt. Auf der Basis dieser Experimente konnten bereits im Labormaßstab Quantenpunktlasers mit sehr gutem Schwellstromverhalten hergestellt werden.

[0007] Mittlerweile zeigt sich jedoch immer mehr, daß durch selbstorganisiertes Wachstum das große Potential niedrigdimensionaler Materialstrukturen aus mehreren Gründen nicht ausgeschöpft werden kann. Zum einen ist die Größenfluktuation der aufgewachsenen Mikrostrukturen zu groß, so daß die Energieniveaus der quantisierten Zustände über einen großen Energiebereich ausgedehnt sind, und die gewünschten Quanteneffekte bis zur Unkenntlichkeit abgeschmiert sind. Zum anderen ist es mit selbstorganisiertem Wachstum nicht möglich, die niedrigdimensionalen Wachstumsbereiche mit gezielter Periodizität anzuordnen. Dadurch wird die Fertigung komplexerer Bauelemente erheb-

lich erschwert, da nachfolgende Prozessschritte lediglich auf Zufallsbasis erfolgen können.

[0008] Schließlich ist selbstorganisiertes Wachstum auch nur bei bestimmten Wachstumsprozessen, d. h. bestimmten Kombinationen zwischen Substratmaterialien und Wachstumsmaterialien, möglich, so daß ein für niedrigdimensionale Strukturen gewünschtes Halbleitermaterial von vornherein nicht auf jedes beliebige Substrat aufgebracht werden kann.

[0009] Dieselben Schwierigkeiten sind zu erwarten, wenn andere Materialien wie beispielsweise magnetische oder magnetisierbare Materialien als niedrigdimensionale Strukturen auf dafür vorgesehenen Substraten abgeschieden werden sollen.

[0010] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung einer periodischen Anordnung eines Materials oder mehrerer verschiedener Materialien mit einstellbarer Periodizität bereit zu stellen. Durch das Verfahren soll darüber hinaus ein Wachstum der Bereiche mit einstellbaren Abmessungen ermöglicht werden, um beispielsweise bei Verwendung von Halbleitermaterialien andere Energieniveaus für Leitungs- und Valenzelektronen zu erreichen. Das Verfahren soll weiterhin gezielt auf die Herstellung von Bauelementen, insbesondere Halbleiterbauelementen ausgerichtet werden.

[0011] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren nach den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsarten des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Unteransprüchen beschrieben. In den Erzeugnisansprüchen sind durch das Verfahren hergestellte Einrichtungen wie Halbleiter- oder Speichereinrichtungen beschrieben.

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren löst die gestellte Aufgabe dadurch, daß auf einem bereitgestellten Substrat, auf welchem eine Schichtabscheidung erfolgen soll, mindestens eine stehende Oberflächenwelle auf einer Hauptoberfläche des Substrats erzeugt wird und das gewünschte Material auf die mit der stehenden Oberflächenwelle beaufschlagte Hauptoberfläche aufgebracht wird.

[0013] Wie noch zu sehen sein wird, kommt dabei dem Begriff Substrat eine umfassende Bedeutung zu. Im einfachsten Fall ist das Substrat eine aus einem einzigen Material bestehende Unterlage wie ein Halbleiterwafer, auf welchem die Strukturen erzeugt werden sollen. In komplizierteren Fällen der Herstellung bestimmter Bauelemente kann das Substrat jedoch eine Mehrzahl von Schichten unterschiedlicher Funktionen aufweisen, auf die dann in einem weiteren Herstellungsschritt periodische Strukturen aufgebracht werden sollen.

[0014] Die stehende Oberflächenwelle kann man sich als eine akustische Oberflächenwelle vorstellen, bei der die Substratoberfläche in den Richtungen transversal und/oder longitudinal zur Ausbreitungsrichtung der Welle zu Schwingungen angeregt wird. Bei einer transversal-akustischen Oberflächenwelle wird die Substratoberfläche in senkrechter Richtung zur Ausbreitungsrichtung der Welle zu Schwingungen angeregt, während bei einer longitudinal-akustischen Welle die Auslenkung als Dehnung und Kompression des atomaren Gefüges in Ausbreitungsrichtung der Oberflächenwelle stattfindet. In der Praxis ist zu erwarten, daß die eigentliche Oberflächenwelle durch eine Mischform zwischen diesen beiden grundsätzlichen Arten von Oberflächenwellen gebildet wird. Eine derartige Mischform ist beispielsweise eine sogenannte Rayleigh-Welle, bei der die Atome der Oberfläche sich auf kreis- oder ellipsenförmigen Bahnen bei der Schwingung bewegen.

[0015] Die Überlagerung zweier entgegengerichteter ebener Wellen führt in jedem Fall zu einer stehenden Welle, bei

der Wellenbäuche maximaler Amplitude gebildet werden, zwischen denen sich Wellenknoten befinden, an denen keine oder deutlich kleinere Auslenkung stattfindet.

[0016] Die Erzeugung der stehenden Oberflächenwelle erfolgt z. B. derart, daß zwei Oberflächenwellen gleicher Frequenz und Wellenlänge sowie entgegengesetzter Richtung einander überlagert werden. Wenn diese Oberflächenwellen ebene Wellen sind, ergibt sich ein zweidimensionales, streifenförmiges Muster einer stehenden Oberflächenwelle, bei der sich die Wellenbäuche, d. h. die Orte maximaler Schwingungsamplitude als periodisch voneinander beabstandete Linien über die Hauptoberfläche des Substrats erstrecken. Der Abstand zwischen den Wellenbäuchen wird durch die halbe Wellenlänge der einzelnen Oberflächenwellen bestimmt. Während der Wellenbewegung nehmen die Wellenbäuche und andere zwischen den Wellenknoten liegenden Punkte veränderliche Werte der Gitterkonstanten, Oberflächenenergie, etc. an und möglicherweise sind diese Werte auch im zeitlichen Mittel der Wellenbewegung gegenüber den Werten in der Ruhelage verändert. Dies läßt erwarten, daß das bei einem Wachstumsprozeß aufgetragene Material sich an bestimmten Orten der periodischen Struktur bevorzugt abscheidet, an denen die Abscheidung unter den energetisch günstigsten Bedingungen stattfinden kann. Im Falle der Halbleiter-Heteroepitaxie beispielsweise ist zu erwarten, daß das Wachstum vorzugsweise dort stattfindet, wo sich eine gemittelte oder momentane Gitterkonstante des Substratmaterials ergibt, die der Gitterkonstante des aufzuwachsenden Halbleitermaterials entspricht. Es ist jedoch nicht vorherzusagen, ob die Atome tatsächlich im zeitlichen Mittel veränderte Oberflächenverhältnisse für ein örtlich selektives Wachstum benötigen, oder ob sie an den Stellen selektiv nukleieren, an denen die Oberfläche an bestimmten Zeitpunkten der Wellenbewegung der Gitterkonstanten des aufzuwachsenden Materials am besten entspricht.

[0017] Durch die Einstellung der Frequenz und Wellenlänge der sich überlagernden Oberflächenwellen kann die Periodizität der stehenden Oberflächenwelle gezielt eingestellt werden. Ferner kann erwartet werden, daß durch Einstellung der Wachstumszeit Größe und Abmessungen der ein- oder nulldimensionalen Materialstrukturen eingestellt werden kann.

[0018] Bisher wurde beschrieben, wie eine einzige stehende Oberflächenwelle erzeugt werden kann. Durch diese können Materialstrukturen wie beispielsweise Halbleiterdrähte oder Ketten von Materialclustern hergestellt werden. Wenn eine geordnete Matrix von Materialclustern erzeugt werden sollen, so müssen lediglich zwei stehende Oberflächenwellen mit einem Winkel zueinander zur Überlagerung gebracht werden. Wenn nun ein Wachstumsprozeß durchgeführt wird, so ist zu erwarten, daß das aufzuwachsende Material sich bevorzugt an bestimmten Punkten einer durch die zwei stehenden Oberflächenwellen gebildeten Schwingungsmatrix anordnen wird. Wenn also ein Halbleitermaterial mit einer bestimmten Gitterkonstante auf ein anderes Halbleitermaterial mit einer anderen Gitterkonstante aufgebracht werden soll, so wird es sich bevorzugt an solchen Orten anlagern, an denen im zeitlichen Mittel oder zu bestimmten Zeitpunkten der Wellenbewegung der sich überlagernden stehenden Oberflächenwellen eine Gitterkonstante einstellt, die der Gitterkonstante des aufzuwachsenden Halbleitermaterials entspricht. Solchermaßen kann eine periodische, nämlich matrixförmige Anordnung von Halbleiter-Wachstumsinseln auf einem im Prinzip beliebigen Substrat hergestellt werden. Auch hier kann die Größe der Wachstumsinseln durch die Wachstumszeit bestimmt werden.

[0019] Die Erfindung ist jedoch nicht nur auf Halbleiter-

materialien beschränkt. Im Prinzip kann jede andere Art von Materialien auf beliebigen Substraten zu periodischen Materialstrukturen geformt werden. Das Grundprinzip, nach dem sich die aufzuwachsenden Materialien bevorzugt an solchen Orten der schwingenden Substratoberfläche anlagern, an denen das Wachstum aufgrund des gemittelten oder momentanen Schwingungs- und Oberflächenzustandes energetisch am günstigsten ist, ist universal und läßt das Aufwachsen periodischer Materialstrukturen nicht nur bei Halbleitermaterialien, sondern bei beliebigen anderen Materialien erwarten.

[0020] Zur Erzeugung einer stehenden Oberflächenwelle auf der Substratoberfläche müssen zwei entgegengerichtete Oberflächenwellen erzeugt werden. Die Oberflächenwellen können grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten generiert werden. Zum einen können extern erzeugte akustische Wellen der Oberfläche durch ein Medium wie Umgebungsluft oder einen akustischen Wellenleiter zugeführt werden. Bevorzugtermaßen werden jedoch der Substratoberfläche periodische elektromagnetische Signale zugeführt und mittels des piezoelektrischen Effektes in Oberflächenwellen umgewandelt. Zur Erzeugung einer stehenden Oberflächenwelle werden somit an zwei Abschnitten einer Hauptoberfläche des Substrats periodische elektromagnetische Signale gleicher Frequenz zugeführt und piezoelektrisch in zwei in entgegengesetzter Richtung propagierende und sich überlagernde Oberflächenwellen umgewandelt.

[0021] Eine besonders bevorzugte, derzeit jedoch noch nicht realisierte Ausführungsform sieht vor, daß die elektromagnetischen Signale, die beispielsweise einem Sinusgenerator entstammen können, als frei propagierende elektromagnetische Strahlung den zwei Abschnitten der Hauptoberfläche zugeführt werden, bei denen sie durch den piezoelektrischen Effekt in mechanische Oberflächenschwingungen umgewandelt werden. Eine derzeit praktikierbare Ausführungsform sieht jedoch vor, daß im Unterschied dazu die elektromagnetischen Signale über Signalführungsleitungen zugeführt werden, wobei die Signalführungsleitungen an ihrem Ausgang mit elektrischen Kontaktschichten verbunden sind, die auf der Hauptoberfläche oder gegebenenfalls darauf aufgetragenen piezoelektrischen Schichten aufgebracht sind, und die elektromagnetischen Signale in die Hauptoberfläche oder in die piezoelektrischen Schichten eingekoppelt werden.

[0022] Das Substrat ist dabei entweder selbst piezoelektrisch wie beispielsweise GaAs, oder anderenfalls müssen auf seiner Hauptoberfläche piezoelektrische Schichten aufgebracht werden, durch die infolge der Zuführung der elektromagnetischen Signale mechanische Oberflächenschwingungen erzeugt werden können.

[0023] Nach Erzeugung der periodischen Materialstrukturen wird zunächst die Materialzufuhr des aufzuwachsenden Materials beendet und anschließend die Einkopplung der Oberflächenwellen beendet. Anschließend kann gewünschtenfalls auf die erzeugten Strukturen eine Deckschicht aufgebracht werden, so daß die Strukturen allseits von einem Einbettungsmaterial umgeben sind. Die Deckschicht kann dabei aus dem gleichen Material bestehen wie das Substrat. Beispielsweise können auf diese Art InAs-Quantenpunkte oder -Quantendrähte in einer umgebenden GaAs-Matrix erzeugt werden. Da die Größe der InAs-Bereiche durch das Wachstumsverfahren wie beschrieben steuerbar ist, können auf diese Weise Halbleiterlaser oder Halbleiterphotodetektoren hergestellt werden, die in den für die optische Kommunikationstechnologie wichtigen Wellenlängenbereichen 1,3 µm und 1,55 µm funktionsfähig sind.

[0024] Die einzelnen Verfahrensschritte können auch mehrmals nacheinander iterativ durchgeführt werden, so

daß eine dreidimensionale Anordnung mehrerer Schichten von Quantendrähten oder Quantenpunkten erzeugt werden kann. Dabei wird nach jeder Abscheidung einer Schicht aus periodischen Materialstrukturen eine die Strukturen einbettende Deckschicht aufgebracht, worauf im nächsten Schritt das Verfahren erneut durchlaufen wird, indem eine oder mehrere stehende Oberflächenwellen generiert werden und die nächste Schicht aus periodischen Materialstrukturen aufgewachsen wird.

[0025] Das erfindungsgemäße Verfahren ist für die Herstellung einer Vielzahl denkbarer Bauelemente geeignet.

[0026] Dazu zählen neben den bereits erwähnten Halbleiterlasern und Halbleiterphotodetektoren auch Halbleiter-Speicherbauelemente wie beispielsweise Floating-Gate-Speicher, magnetische Speicher, Präge- oder Druckeinrichtungen zum Zwecke der Strukturierung anderer Oberflächen sowie Halbleiterbauelemente mit relaxierten Pufferschichten. Generell dient die Erfindung auch der Herstellung solcher Halbleiterbauelemente, bei welchen der Stromtransport zwischen den periodischen Strukturen stattfindet. Weiterhin können durch das erfindungsgemäße Verfahren neue Wellenlängenbereiche in Halbleiterlasern oder Halbleiterphotodetektoren erschlossen werden. So ist beispielsweise wie oben beschrieben vorstellbar, daß durch eine Nukleation von periodischen InAs-Inseln auf GaAs die für die optische Kommunikation wichtige Wellenlänge bei  $1,55\ \mu\text{m}$  sowie andere gewünschten Wellenlängen erreichbar sind. Das erfindungsgemäße Verfahren ist ferner zur Herstellung solcher Bauelemente geeignet, bei der die genaue Position der hergestellten periodischen Strukturen für eine weitere Prozessierung bekannt sein muß.

[0027] Im folgenden wird die vorliegende Erfindung anhand der Zeichnungsfiguren näher erläutert, in denen unter anderem einige der Anwendungsbeispiele schematisch skizziert sind.

[0028] Es zeigen:

[0029] Fig. 1(a)–(g) eine schematische Zustandsbeschreibung einer GaAs-Oberfläche, die zum Zwecke des Aufwachsens von Halbleitermaterialien einer stehenden Oberflächenwelle ausgesetzt wird;

[0030] Fig. 2 eine Anordnung von elektrischen Kontaktschichten auf einer Substratoberfläche zur Erzeugung zweier ebener entgegengerichteter Oberflächenwellen;

[0031] Fig. 3 eine schematische Querschnittsdarstellung eines Halbleiter-Quantendrahtlasers;

[0032] Fig. 4 eine schematische Querschnittsdarstellung eines Distributed-Feedback(DFB)-Lasers;

[0033] Fig. 5 eine dreidimensionale Anordnung von Materialclustern mit schichtweise alternierenden Materialien A und B unterschiedlicher Brechungsindizes  $n_A$  und  $n_B$ .

[0034] In der Fig. 1(a) ist zunächst eine GaAs-Oberfläche zum Zeitpunkt  $t = 0$ , also unmittelbar vor dem Einschalten der stehenden Oberflächenwelle dargestellt. In den Teilbildern (b) bis (d) sind die Oberflächenzustände zweier Wellenbäuche zu den drei Zeitpunkten  $t = 1/4P$ ,  $1/2P$ ,  $3/4P$  dargestellt. In Fig. 1(b) wurde die stehende Oberflächenwelle erzeugt und der Zeitpunkt nach einer Viertelperiode  $t = 1/4P$  festgehalten. Zu diesem Zeitpunkt ist die Oberfläche mechanisch deformiert und es existieren Bereiche, in denen die Oberfläche dehnungsverspannt ist, d. h. die Gitterkonstante ist gegenüber Fig. 1(a) in diesen Bereichen um einen gewissen Betrag vergrößert. Nach  $t = 1/2P$  ist die Oberfläche wieder in dem unverspannten Zustand. Nach  $t = 3/2P$  (Fig. 1(d)) erhält man ein ähnliches Bild wie in Fig. 1(b), mit dem einzigen Unterschied, daß sich die Phase um  $180^\circ$  verschoben hat.

[0035] In der Auftragung der zeitlich integrierten Verspannungsenergie der Oberfläche (Fig. 1(e)) ist lediglich

beispielshalber veranschaulicht, daß die Verspannungsenergie mit der Periode der stehenden Oberflächenwelle moduliert ist. Tatsächlich ist noch nicht bekannt, ob das Maximum der Verspannungsenergie im Zentrum der Wellenbäuche oder an einem anderen Punkt liegt.

[0036] In der Fig. 1(f) ist eine zeitlich gemittelte GaAs-Oberfläche abgebildet, auf der z. B. GaAs- oder AlAs-Atome abgeschieden worden sind. Da es sich hierbei um Atome mit gleicher Gitterkonstante wie das Substrat handelt, werden sich die Atome bevorzugt an den Knoten anlagern, um die Verspannungsenergie zu minimieren. Betrachtet man jedoch ein Material mit größerer Gitterkonstante, wie beispielsweise InAs in Fig. 1(g), so erwartet man eine Anlagerung der Atome in Bereichen der Wellenbäuche, da dort die Gitterkonstante des Substrats im Mittel oder zu bestimmten Zeitpunkten der Wellenbewegung größer ist als an den Knoten.

[0037] Die beschriebenen Beispiele verdeutlichen den universellen Charakter des erfindungsgemäßen Verfahrens. Es ist demnach sogar möglich, periodische Inselstrukturen zu erzeugen, die aus Materialien mit gleicher Gitterkonstante und gleicher Oberflächenenergie wie das Substrat bestehen.

[0038] Die Fig. 2 zeigt eine Draufsicht auf ein Substrat 1, welches an gegenüberliegenden Randabschnitten mit elektrischen Kontaktschichten 2 und 3 zur Erzeugung von Oberflächenwellen versehen ist.

[0039] Die elektrischen Kontaktschichten 2 und 3 sind entweder direkt auf ein piezoelektrisches Substrat 1, etwa GaAs-Substrat aufgebracht oder, falls das Substrat 1 keine piezoelektrischen Eigenschaften aufweist, über piezoelektrische Zwischenschichten an die Hauptoberfläche des Substrats 1 angekoppelt. Auf jeder Seite sind elektrische Kontaktschichten 2 und 3 mit den Anschlüssen von Signalführungskabeln 4 und 5 (Koaxialkabel oder SMA-Kabel) verbunden. Die Kontaktschichten 2 und 3 bestehen jeweils aus 2 fingerförmig ineinandergreifenden Strukturen 2A und 2B bzw. 3A und 3B, bei denen der Abstand der Finger an die Wellenlängen der zu erzeugenden Oberflächenwelle angepaßt ist. Derartige Strukturen zur Erzeugung von Oberflächenwellen sind an sich im Stand der Technik bekannt und sollen daher hier nicht näher erläutert werden.

[0040] Den Kontaktschichten 2 und 3 werden elektrische Signale aus einer Signalquelle 10, etwa einem Sinusgenerator zugeführt, dessen Ausgang durch eine T-Verbindung geteilt und den Kontaktschichten 2 und 3 zugeführt wird, so daß diese ein elektrisches Signal gleicher Frequenz, Amplitude und Phase erhalten. Bei geeigneter Phasenlage der beiden Oberflächenwellen zueinander, die beispielsweise durch eine variable Verzögerungsleitung in einer der beiden Signalführungsleitungen einstellbar gemacht werden kann, kann somit durch Überlagerung der entgegengesetzt propagierenden ebenen Oberflächenwellen eine stehende Oberflächenwelle auf der Hauptoberfläche des Substrats 1 erzeugt werden.

[0041] Alternativ dazu ist denkbar, die elektromagnetischen Signale ohne Verwendung von Signalführungsleitungen als frei propagierende Strahlung auf das Substrat 1 zu richten, so daß sie an ihrem Auftreffort gegebenenfalls unter Mitwirkung piezoelektrischer Schichten in mechanische Oberflächenschwingungen umgewandelt werden.

[0042] Durch die Anordnung der Fig. 2 wird eine einzige stehende Oberflächenwelle erzeugt. Diese erlaubt in einem gleichzeitigen Wachstumsprozeß das Aufwachsen von eindimensionalen Materialstrukturen wie beispielsweise Halbleiter-Drahtstrukturen oder Ketten von Materialclustern. Wenn das Aufwachsen von einer Matrix von Halbleiterclustern gewünscht wird, so muß eine zweite stehende Oberflä-

chenwelle generiert werden, die mit der ersten stehenden Oberflächenwelle einen Winkel, beispielsweise einen 90°-Winkel, einnimmt. In letzterem Fall wird eine matrix- oder schachbrettartige Anordnung von Wellenbäuchen und -knoten erzeugt, durch die ein Wachstum von Clustern ermöglicht wird. Die zweite stehende Oberflächenwelle kann beispielsweise durch elektrische Kontaktschichten erzeugt werden, die sich an den Längsseiten des Substrats 1 gegenüberliegen.

[0043] Als Abscheidungsprozeß kann im Prinzip jedes beliebige Wachstumsverfahren verwendet werden. Es können einfache und kostengünstige Verfahren wie beispielsweise physikalische Dampfabcheidung (Sputtern), Dampfphasenabscheidung oder Flüssigphasenabscheidung, angewandt werden. Gleichmaßen können auch aufwendigere jedoch präziser steuerbare Verfahren wie Molekularstrahlepitaxie oder Gasphasenabscheidung oder Mischformen daraus (MOMBE) zum Einsatz kommen.

[0044] Da sich die mechanischen Eigenschaften der Oberfläche unter dem Einfluß der stehenden Oberflächenwelle periodisch ändern, wird erwartet, daß sich abgeschiedene Atome und/oder Moleküle während ihrer Oberflächendiffusionszeit periodisch auf der Oberfläche anordnen können.

[0045] Ein großer Vorteil dieses Verfahrens ist seine hohe Flexibilität. So kann die stehende Oberflächenwelle zu beliebigen Zeitpunkten ein- und ausgeschaltet werden. Außerdem kann prinzipiell durch Änderung der angelegten Frequenz die Wellenlänge der stehenden Oberflächenwelle über große Bereiche verändert werden. Dieser Aspekt unterscheidet sich fundamental von Ansätzen, bei denen vorstrukturierte Substrate überwachsen werden, weil in diesem Fall die Anordnung von Anfang an fest vorgegeben ist. Die Erfindung ist auch keinesfalls nur auf kristalline Materialien beschränkt, sondern auf beliebige nicht-kristalline Kombinationen übertragbar.

[0046] In der Fig. 3 ist als erstes Anwendungsbeispiel ein mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellter kantenemittierender Quantendraht-Halbleiterlaser 20 in einer vereinfachten Form im Querschnitt dargestellt. Auf einem n-dotierten Halbleitersubstrat 21, beispielsweise aus GaAs, wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine periodische Anordnung gleichmäßig beabstandeter, intrinsischer Quantendrähte, beispielsweise aus InAs, aufgebracht. Durch die Wachstumszeit kann der laterale Durchmesser der Quantendrähte 22, somit die Lage der Energieniveaus in den durch die Quantendrähte 22 gebildeten Potentialtöpfen und somit die Emissionswellenlänge des Halbleiterlasers 20 eingestellt werden. So kann beispielsweise bei einem relativ geringen Durchmesser der Quantendrähte 22 eine Emissionswellenlänge von 1,3 µm erzielt werden, wohingegen ein relativ großer lateraler Durchmesser der Quantendrähte 22 eine Einstellung der Emissionswellenlänge auf 1,55 µm erlaubt. Besonders vorteilhaft ist es, wenn zusätzlich der Abstand der Quantendrähte 22 voneinander auf ein ganzzahliges Vielfaches der halben Emissionswellenlänge, also auf  $n\lambda/2$  eingestellt wird. Diese Einstellung der Periodizität in Kavitätsrichtung des Quantendrahtlasers wird dazu benutzt, Lasertätigkeit auf nur einer einzigen Wellenlänge (single mode) zu erzeugen. Auf diese Weise wird somit ein Distributed-Feedback (DFB)-Laser hergestellt. Der vereinfachten Darstellung wegen ist in der Fig. 3 auf Wellenleiter- oder Cladding-Schichten, mit denen man ein optisches Confinement erzielen kann, verzichtet worden.

[0047] Hergestellt wird der Quantendrahtlaser 20 dadurch, daß auf der Oberfläche des n-leitenden GaAs-Substrats 21 wie bereits beschrieben eine stehende Oberflächenwelle erzeugt und gleichzeitig nominell undotiertes InAs auf der Hauptoberfläche abgeschieden wird. Wenn der Durch-

messer der Quantendrähte 22 die gewünschte Größe erreicht hat, wird die Zufuhr von InAs und somit das Wachstum gestoppt und die Einkopplung der Oberflächenwellen abgeschaltet. Anschließend wird auf konventionelle Art und Weise die Struktur mit einer Deckschicht 23 aus p-dotiertem GaAs überwachsen. Schließlich werden noch metallische Kontaktanschlüsse auf beiden Seiten aufgebracht, über die das Bauelement mit einer externen Signalquelle verbunden werden kann.

[0048] Alternativ zu dem beschriebenen Quantendrahtlaser kann auch ein Quantenpunktlaser hergestellt werden, wobei wie bereits beschrieben 2 stehende Oberflächenwellen mit einem Winkel zueinander, vorzugsweise 90° zur Überlagerung gebracht werden und gleichzeitig das aktive Halbleitermaterial, also beispielsweise InAs, abgeschieden wird.

[0049] Eine weitere, nicht dargestellte Anwendungsform der vorliegenden Erfindung bezieht sich auf Halbleiter-Photodetektoren. Dies beruht auf der Überlegung, daß durch die erzielbare hohe Periodizität und Gleichförmigkeit der hergestellten niedrigdimensionalen Strukturen eine Verschmälerung der Absorptionslinien für die resonante Lichtabsorption in den Quantenstrukturen einher geht. Dies bedeutet eine erhöhte Absorption und verbesserte Empfindlichkeit von Photodetektoren, die auf eingebetteten ein- oder nulldimensionalen Halbleiterstrukturen basieren. Ein derartiger Photodetektor kann beispielsweise als pin-Diode aufgebaut sein, wobei die obere Lichtempfangsfläche aus p-dotierten Quantendrähten oder Quantenpunkten gebildet ist. Das Substrat im Sinne der Erfindung ist somit eine n-dotierte Halbleiterzone auf die eine intrinsische Halbleiterschicht aufgebracht ist. Auf die Hauptoberfläche dieser intrinsischen Halbleiterschicht wird dann nach dem beschriebenen Verfahren eine periodische draht- oder clusterförmige p-dotierte Struktur erzeugt. Die intrinsische Schicht kann auch weggelassen werden, da es nur darauf ankommt, einen pn-Übergang zu erzeugen.

[0050] Ebenso kann die vorliegende Erfindung auch auf Halbleiter-Photodetektoren mit Schottky-Kontakten angewandt werden. In der Fig. 4 ist als ein weiteres Anwendungsbeispiel ein Distributed-Feedback (DFB)-Laser dargestellt, bei welchem jedoch nicht die laseraktive Schicht selbst aus periodischen Strukturen gebildet ist, sondern das erfindungsgemäße Verfahren lediglich dazu benutzt wird, eine Modulation in der darüberliegenden Deckschicht für die gewünschte Rückkopplung zu erzeugen. Auf einem Halbleitersubstrat 31 wird zunächst eine dotierte erste Einbettungsschicht 32 abgeschieden. Auf diese wird dann eine intrinsische aktive Halbleiterschicht 33 aufgebracht. Die zweite p-dotierte Einbettungsschicht 34 besteht aus einer ersten ebenen Teilschicht 34a und einer zweiten oberflächenmodulierten Teilschicht 34b. Zunächst wird auf konventionelle Art und Weise die erste Teilschicht 34a aufgewachsen, bis sie eine bestimmte Dicke erreicht hat. Dann wird auf der Oberfläche der ersten Teilschicht 34a eine stehende Oberflächenwelle erzeugt und das Aufwachsen fortgesetzt, so daß die zweite modulierte Teilschicht 34b daraus resultiert. Die Periodizität der Modulation wird wiederum so eingestellt, daß sie einem ganzzahligen Vielfachen der halben Emissionswellenlänge des DFB-Lasers 30,  $n\lambda/2$ , entspricht. In an sich bekannter Weise wird die periodische Struktur des DFB-Lasers dazu benutzt, Laseraktivität auf nur einer einzigen Wellenlänge zu erzeugen. Nach Abscheidung der zweiten Teilschicht 34b kann die Struktur mit einer Deckschicht 35 planar überwachsen werden.

[0051] In der Fig. 5 ist als weiteres Anwendungsbeispiel der vorliegenden Erfindung eine dreidimensionale Anordnung von periodischen draht- oder clusterförmigen Materi-

alstrukturen dargestellt, durch die ein sogenannter photonischer Kristall realisiert werden kann. Ein photonischer Kristall ist gewissermaßen optisches Gegenstück zu einem Halbleiter, in dem sich nur Elektronen bestimmter Energie bewegen können. Mit Materialien, die eine mikroskopisch feine periodische Struktur besitzen, kann man nicht nur die Ausbreitung sichtbaren Lichts gezielt lenken, sondern diese auch gänzlich unterdrücken. Mit photonischen Kristallen sollten sich deshalb Schaltelemente bauen lassen, die die Ausbreitung von Lichtstrahlen steuern können. Im vorliegenden Anwendungsbeispiel besteht der photonische Kristall aus einer dreidimensionalen Modulation von zwei Materialien A und B mit unterschiedlichen Brechungsindizes  $n_A$  und  $n_B$ . Diese werden in eine Matrix eingebettet, die gegebenenfalls für sichtbares Licht transparent ist. Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird auf eine Hauptoberfläche eines Matrixsubstrats eine erste periodische Anordnung von Drähten oder Punkten aus einem Material A aufgebracht, die Struktur anschließend mit dem Matrixmaterial planar überwachsen und anschließend eine ebensolche periodische Struktur aus einem Material B aufgewachsen, wobei die Phase der stehenden Oberflächenwelle um  $45^\circ$  verändert wird, so daß die Strukturen mit einem räumlichen Versatz gegenüber der ersten Schicht aus dem Material A aufgebracht werden. Somit entsteht eine versetzte periodische Struktur, die dann wieder ohne stehende Oberflächenwelle mit dem Matrixmaterial überwachsen wird. Eine erneute Schicht aus dem Material A wird dann wiederum ohne räumlichen Versatz zu der darunter liegenden Schicht aus dem Material A aufgebracht. Im folgenden wird der Vorgang beliebig häufig wiederholt.

[0052] Ein weiteres nicht dargestelltes Anwendungsbeispiel der vorliegenden Erfindung betrifft jede Art von elektronischen Speicherbauelementen, welche darauf basieren, daß elektronische Ladungen in eingebetteten periodischen Strukturen gespeichert werden. Ein Sonderfall hiervon ist ein sogenannter an sich im Stand der Technik bekannter Floating-Gate-Speicher. Das Floating-Gate wird nach dem erfindungsgemäßen Verfahren aus periodischen draht- oder clusterförmigen isolierten Elektrodenstrukturen aufgebaut, die beladen und entladen werden können. Die Erfindung bietet somit in der Anwendung auf dieses Bauelement die Möglichkeit, eine kontrollierte Anzahl von Elektrodenstrukturen einzufügen und so die elektrostatische Beladung exakt zu kontrollieren.

[0053] Eine weitere Anwendung der vorliegenden Erfindung betrifft magnetische Speicherbauelemente. Für magnetische Speicher ist eine gezielte Anwendung von magnetischen oder magnetisierbaren Strukturen auf einer Oberfläche notwendig. Das erfindungsgemäße Verfahren bietet hier die Möglichkeit, derartige Strukturen mit mikroskopischen lateralen Dimensionen mit hoher Präzision in der Periodizität und der Gleichförmigkeit anzuordnen.

[0054] Die Erfindung kann auch dafür genutzt werden, mechanische Präge- oder Druckeinrichtungen zu erstellen, mit denen andere Oberflächenstrukturen strukturiert werden sollen. Für derartige Druck- oder Prägemasken wird eine periodische Struktur auf einer Oberfläche abgeschieden, die dann als Stempel benutzt werden kann, um in eine andere Oberfläche eine entsprechende Einprägung zu formen.

[0055] Eine weitere Anwendung der vorliegenden Erfindung betrifft konventionelles Wachstum von Epitaxieschichten und die Nukleation von Defekten. Es ist damit zu rechnen, daß Defekte in Epitaxieschichten auf mit stehenden Oberflächenwellen modulierten Oberflächen fundamental anders an genau vordefinierten, beispielsweise regelmäßig periodischen Stellen nukleieren als auf nicht-modulierten Oberflächen. Dies kann zu völlig neuen Konzepten für rela-

xierte Pufferschichten führen, die dann als Basis für verbesserte Bauelemente einsetzbar sind.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer periodischen Anordnung von Bereichen eines Materials oder mehrerer verschiedener Materialien, mit den Verfahrensschritten:

- a) Bereitstellen eines Substrats (1),
- b) Erzeugen mindestens einer stehenden Oberflächenwelle auf einer Hauptoberfläche des Substrats,
- c) Aufbringen des Materials auf die mit der stehenden Oberflächenwelle beaufschlagte Hauptoberfläche.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

- im Verfahrensschritt b) die stehende Oberflächenwelle dadurch erzeugt wird, daß an zwei Abschnitten der Hauptoberfläche periodische Schallsignale eingekoppelt und in zwei in entgegengesetzte Richtung propagierende und sich überlagernde Oberflächenwellen umgewandelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

- im Verfahrensschritt b) die stehende Oberflächenwelle dadurch erzeugt wird, daß an zwei Abschnitten der Hauptoberfläche periodische elektromagnetische Signale gleicher Frequenz zugeführt und mittels des piezoelektrischen Effektes in zwei in entgegengesetzte Richtung propagierende und sich überlagernde Oberflächenwellen umgewandelt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß

- das Substrat (1) piezoelektrische Eigenschaften aufweist und die elektromagnetischen Wellen direkt in das Substrat eingekoppelt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß

- an den zwei Abschnitten piezoelektrische Schichten auf die Hauptoberfläche aufgebracht sind und die elektromagnetischen Wellen in die piezoelektrischen Schichten eingekoppelt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß

- die elektromagnetischen Signale über Signalzuführungsleitungen (4, 5) zugeführt werden, wobei
- die Signalzuführungsleitungen (4, 5) an ihrem Ausgang mit elektrischen Kontaktschichten (2A, 2B, 3A, 3B) verbunden sind, die auf der Hauptoberfläche oder gegebenenfalls darauf aufgetragenen piezoelektrischen Schichten aufgebracht sind, und
- die elektromagnetischen Signale in die Hauptoberfläche oder die piezoelektrischen Schichten eingekoppelt werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß

- die elektromagnetischen Signale als freipropagierende elektromagnetische Strahlung den zwei Abschnitten der Hauptoberfläche zugeführt werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß

- im Verfahrensschritt b) auf der Hauptoberfläche zwei sich unter einem Winkel, überlagernde ste-



- hende Oberflächenwellen erzeugt werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
    - das Substrat aus (Al, Ga) As hergestellt ist und
    - das im Verfahrensschritt c) aufgebrachte Halbleitermaterial ein anderes III-V-Material, insbesondere InAs, ist.
  10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
    - in einem weiteren Verfahrensschritt d) auf das Substrat und die Bereiche eine Deckschicht aufgebracht wird, so daß die Bereiche zwischen dem Substrat und der Deckschicht eingebettet werden.
  11. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 10, dadurch gekennzeichnet, daß
    - eine dreidimensionale periodische Anordnung von Bereichen eines oder mehrerer Materialien dadurch hergestellt wird, indem
    - die Verfahrensschritte a) bis d) mehrmals hintereinander iterativ durchlaufen werden, wobei die im jeweils letzten Durchlauf aufgebrachte Deckschicht im jeweils nächsten Durchlauf als Substrat dient.
  12. Einrichtung enthaltend eine gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11 hergestellte periodische Anordnung von Bereichen eines oder mehrerer verschiedener Materialien.
  13. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß
    - sie ein Halbleiterlaser (20) ist, bei welchem
    - das Substrat (21) aus einem ersten Halbleitermaterial mit einem ersten Leitfähigkeitstyp (n, p) gebildet ist,
    - auf dem Substrat (21) periodisch angeordnete Bereiche (22) eines intrinsischen, zweiten Halbleitermaterials durch Aufwachsen während der Beaufschlagung der Hauptoberfläche mit einer oder zwei sich unter einem Winkel überlagernden stehenden Oberflächenwellen gebildet sind, und
    - auf dem Halbleitersubstrat (21) und den Bereichen eine Deckschicht (23) aus einem Halbleitermaterial mit einem zweiten Leitfähigkeitstyp (p, n) gebildet ist, wobei
    - das zweite Halbleitermaterial der periodischen Bereiche (22) eine niedrigere Bandlücke als das umgebende Halbleitermaterial aufweist.
  14. Einrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß
    - das erste Halbleitermaterial (Al, Ga) As, insbesondere GaAs ist,
    - das zweite Halbleitermaterial InAs ist, wobei die Emissionswellenlänge bei 1,55 µm oder 1,3 µm liegt.
  15. Einrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß
    - die periodischen Bereiche (22) einen Abstand von  $n\lambda/2$  von einander aufweisen, so daß eine Emission auf einer einzigen Wellenlänge  $\lambda$  erzielt wird.
  16. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß
    - sie ein Halbleiter-Photodetektor ist, bei welchem
    - das Substrat aus einem Halbleitermaterial mit einem ersten Leitfähigkeitstyp (n, p) und gegebenenfalls einer darauf abgeschiedenen Schicht eines intrinsischen Halbleitermaterials gebildet ist,
    - auf dem solchermaßen gebildeten Substrat peri-

- odisch angeordnete Bereiche eines Halbleitermaterials mit einem zweiten Leitfähigkeitstyp (p, n) durch Aufwachsen während der Beaufschlagung der Hauptoberfläche mit einer oder zwei sich unter einem Winkel überlagernden stehenden Oberflächenwellen gebildet sind, wobei
- das Halbleitermaterial der periodischen Bereiche eine niedrigere Bandlücke als das umgebende Halbleitermaterial aufweist.
17. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß
    - sie ein Halbleiter-Photodetektor mit einem Schottky-Kontakt ist.
  18. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß
    - sie ein DFB-(Distributed Feedback)Laser (30) ist, bei welchem
    - das Substrat durch eine erste Einbettungsschicht (32) eines Halbleitermaterials eines ersten Leitfähigkeitstyps (n, p), eine darauf abgeschiedene, intrinsische aktive Halbleiterschicht (33) und eine darauf abgeschiedene erste ebene Teilschicht (34a) einer zweiten Einbettungsschicht (34) eines Halbleitermaterials eines zweiten Leitfähigkeitstyps (p, n) gebildet ist,
    - auf dem solchermaßen gebildeten Substrat eine zweite Teilschicht (34b) der zweiten Einbettungsschicht (34) desselben Halbleitermaterials wie das der ersten Teilschicht (34a) in Form von periodisch beabstandeten, drahtförmigen Bereichen durch Aufwachsen während der Beaufschlagung der Hauptoberfläche mit einer stehenden Oberflächenwelle gebildet ist.
  19. Einrichtung nach Anspruch 12, enthaltend eine gemäß Anspruch 11 hergestellte periodische Anordnung von Bereichen mindestens eines Halbleitermaterials, dadurch gekennzeichnet, daß
    - sie ein photonischer Kristall (40) ist, bei welchem
    - die periodischen draht- oder clusterförmigen Bereiche (41) aus zwei alternierend abgeschiedenen Materialien (A, B) mit unterschiedlichen Brechungsindizes ( $n_A$ ,  $n_B$ ) gebildet sind und gegebenenfalls
    - die periodischen Bereiche (41) zweier benachbarter Schichten durch Änderung der Phase der mindestens einen stehenden Oberflächenwelle mit einem räumlichen Versatz gegeneinander gebildet werden.
  20. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß
    - sie eine Speichereinrichtung ist, bei welcher
    - in den periodischen draht- oder clusterförmigen Bereichen elektrische Ladungen speicherbar sind.
  21. Einrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß
    - sie ein Floating-Gate-Speicher ist, bei welchem
    - die Speichereinheiten durch in einer Matrix eingebettete Bereiche gebildet sind, die gegebenenfalls
    - gemäß Anspruch 11 in mehreren Schichten übereinander abgeschieden sind.
  22. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß
    - sie ein Halbleiterbauelement ist, bei welchem der Stromtransport zwischen den periodischen draht- oder clusterförmigen Bereichen stattfindet.
  23. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet,

- sie ein magnetischer Speicher ist, bei welchem
- die periodischen Bereiche durch magnetische oder magnetisierbare Materialien gebildet sind.

24. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekenn- 5  
zeichnet,

- sie eine Präge- oder Druckeinrichtung zum Zwecke der Strukturierung anderer Oberflächen ist.

10

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

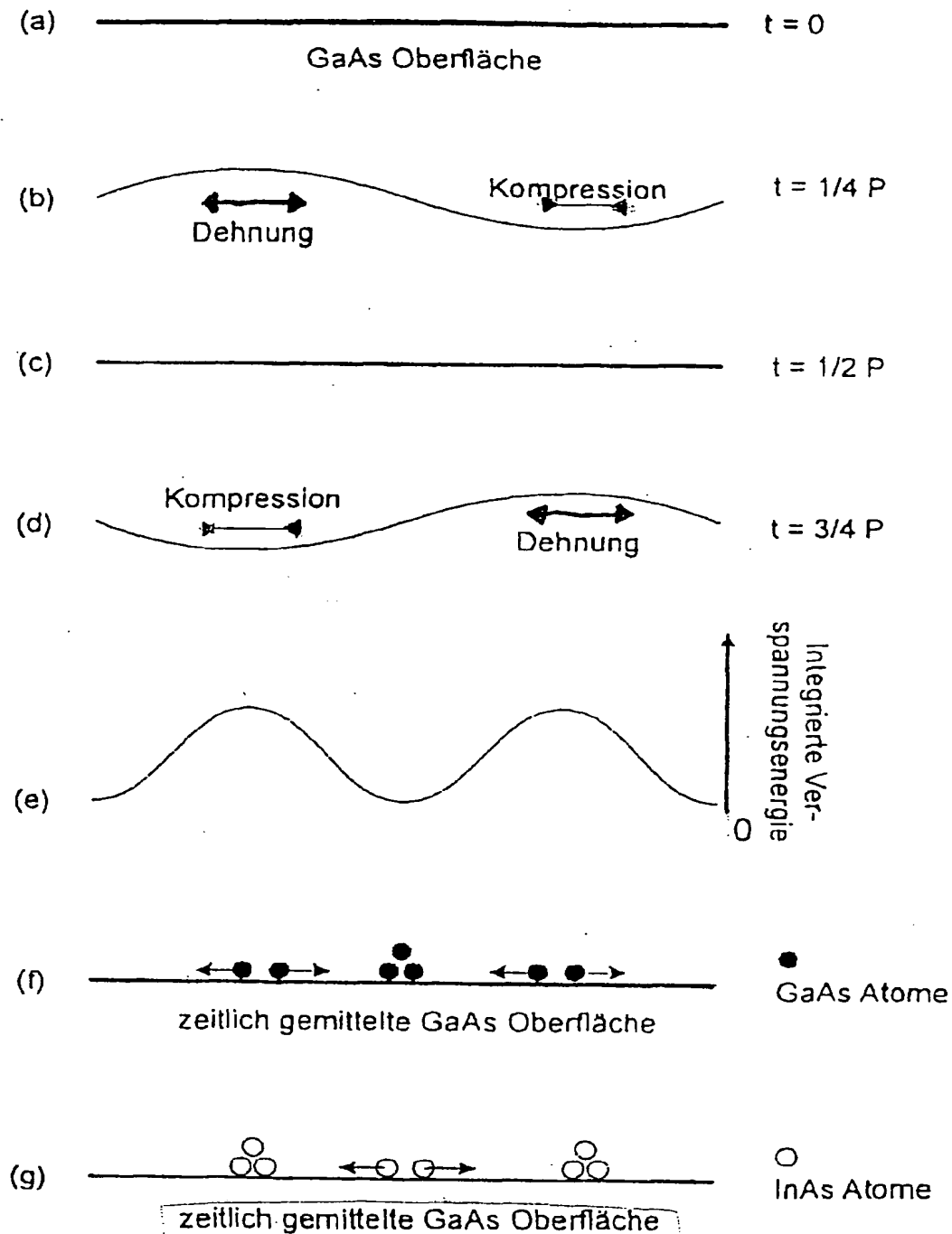


Fig. 1

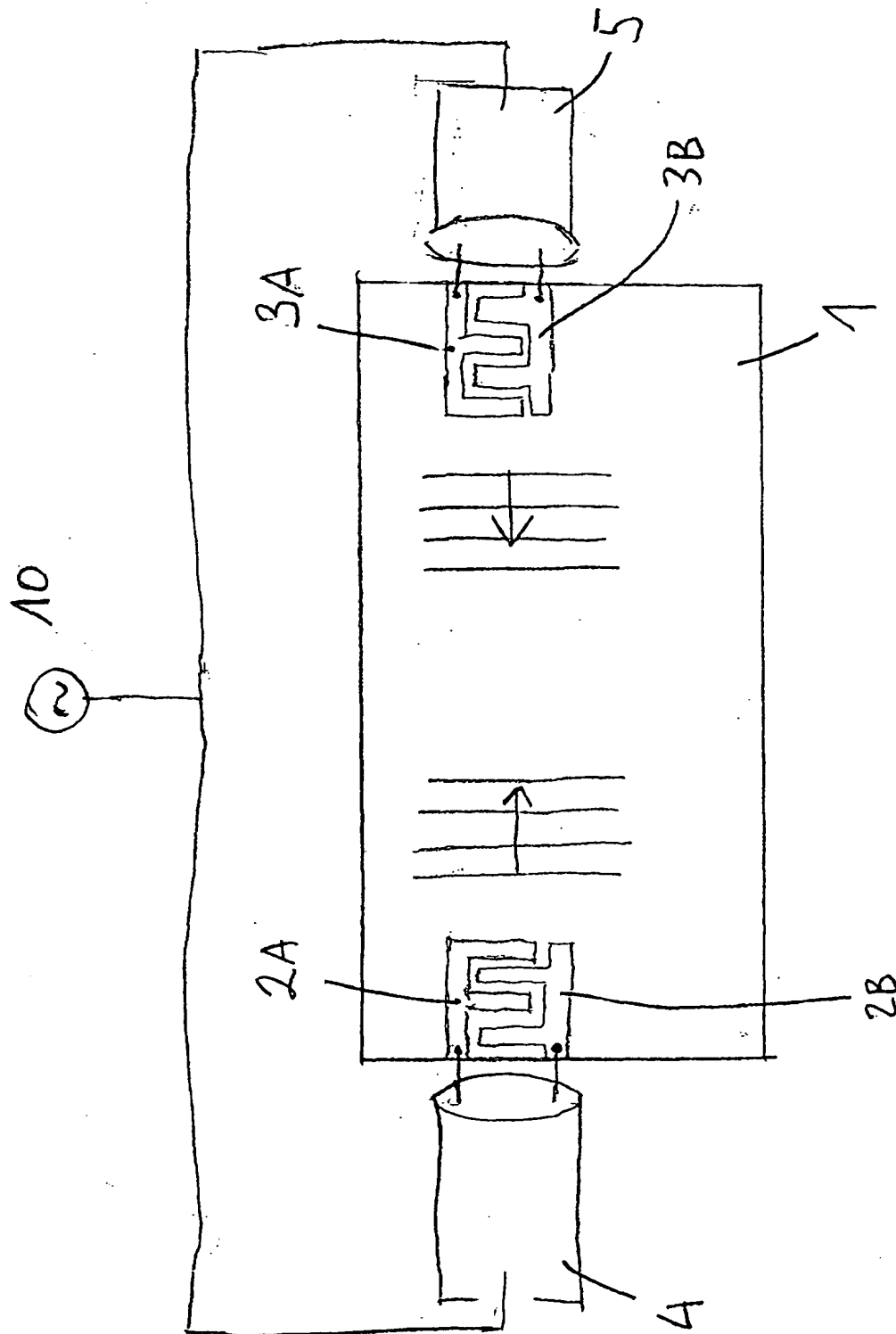


Fig. 2

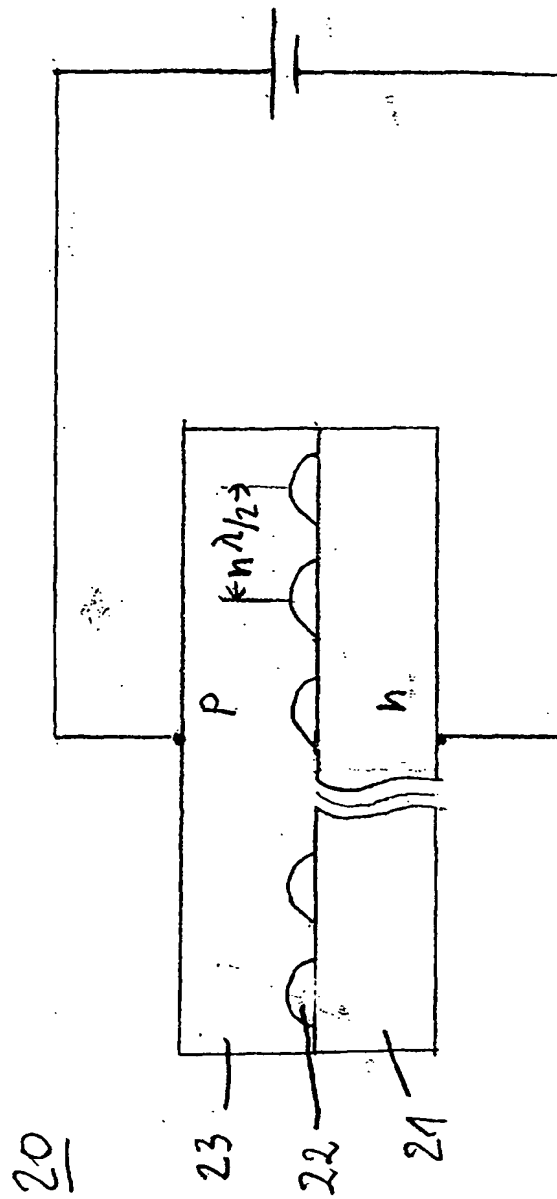


Fig. 3

30

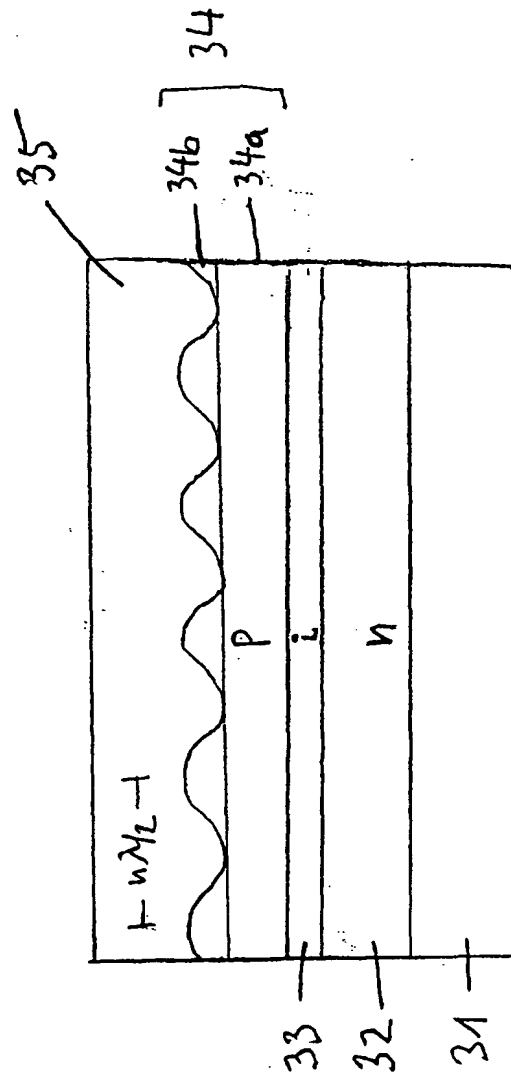


Fig. 4

140

47

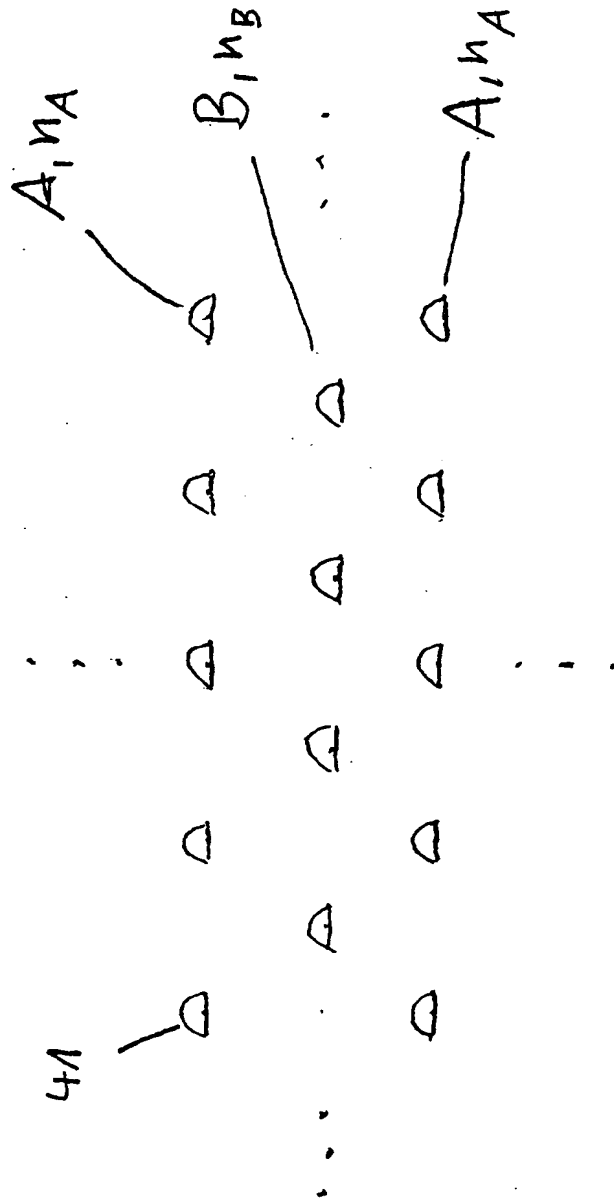
 $B, n_B$  $A, nA$ 

Fig. 5